

表1-4-21 ごみ・灰中臭素化ジフェニルエーテル 実測濃度

サンプル名	ごみサンプル1	ごみサンプル2	ごみサンプル3	焼却灰	集塵灰
サンプル量	29.79g	37.96g	35.95g	48.3g	31.27g
単位	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
2-MoBDE	<5	<5	<5	<0.05	<0.05
4,4'-DiBDE	<5	<5	<5	<0.05	<0.05
3,4,4'-TrBDE	<5	<5	<5	0.05	0.09
2,2',4,4'-TeBDE	<5	<5	<5	0.13	1.49
3,3',4,4'-TeBDE	<5	<5	<5	<0.05	<0.05
2,2',4,4',5'-PeBDE	<5	<5	<5	<0.05	0.91
2,2',4,4',5,5'-HxBDE	<5	<5	<5	<0.05	0.17
2,3,3',4,4',5,6'-HpBDE	<5	<5	<5	<0.05	<0.05
MoBDEs	<5	<5	<5	<0.05	<0.05
DiBDEs	<5	<5	<5	<0.05	<0.05
TrBDEs	8.20	5.92	6.10	0.41	0.64
TeBDEs	<5	<5	<5	0.20	1.94
PeBDEs	<5	<5	<5	<0.05	1.31
HxBDEs	<5	<5	<5	<0.05	0.27
HpBDEs	<5	<5	<5	<0.05	<0.05
OBDEs	<50	<50	<50	<0.5	<0.5
NoBDEs	<50	<50	<50	<0.5	<0.5
DeBDE	<50	<50	<50	<0.5	<0.5
Total PBDEs	8.20	5.92	6.10	0.61	4.16

#### 1. 4. 4 考察

##### 1. TEQ-'97とTEQ-'88との比較

表1-4-14より、塩素化ダイオキシン類の毒性等価換算値は、88年のTEQと97年のTEQ（Co-PCB含む）とを比較すると、排ガス中では、TEQ-'97は、TEQ-'88の12～17%増、ごみ中では、1.5%減～17%増、焼却灰中では約22%増、集塵灰中では16%増となっている。また、TEQ-'97に占めるCo-PCBのTEQの割合は、排ガス中では3～7%、ごみ中では18～24%、焼却灰中では6.7%、集塵灰中では6.4%であった（図1-4-6参照）。

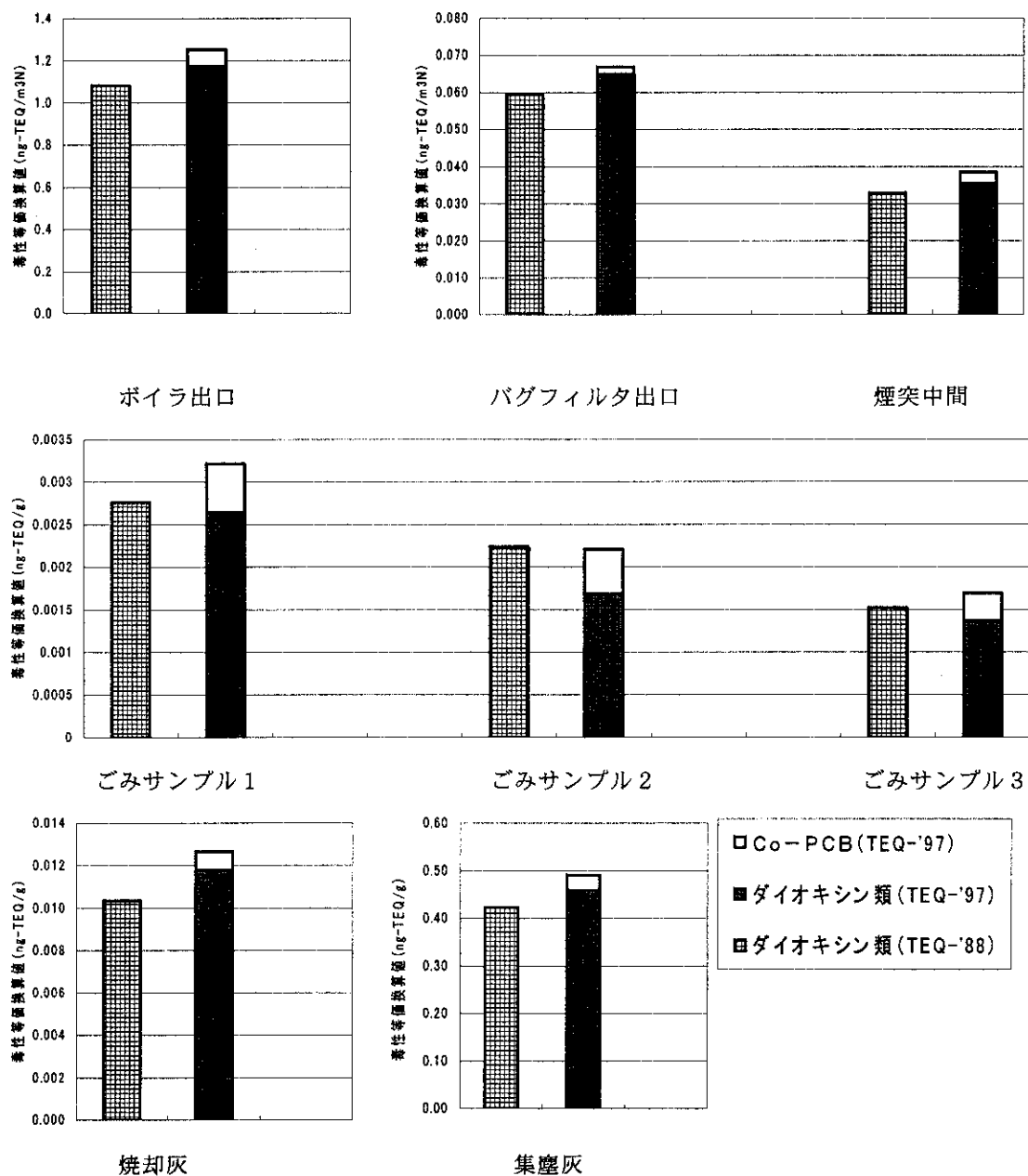


図1-4-6 PCDDs/DFs, Co-PCB 毒性等価換算値比較図

## 2. 塩素化ダイオキシン類と臭素化ダイオキシン類との比較

図1-4-7～8に、塩素化ダイオキシン類に対する臭素化ダイオキシン類の値を示す。塩素化ダイオキシン類に対する臭素化ダイオキシン類の値は、ごみ中では3.4%～102.6%と、サンプルによりばらつきが見られる。排ガス中のそれは、ボイラ出口で0.6%、BF出口で7.9%、煙突中間で8.5%と、いずれも10%以下であった。また、焼却灰では1.6%、集塵灰では0.3%となり、塩素化に対する臭素化の割合はさらに下がる。塩素化ダイオキシン類除去対策により、臭素化ダイオキシン類も塩素化と同様に除去・分解できることが示唆されるデータが得られた。

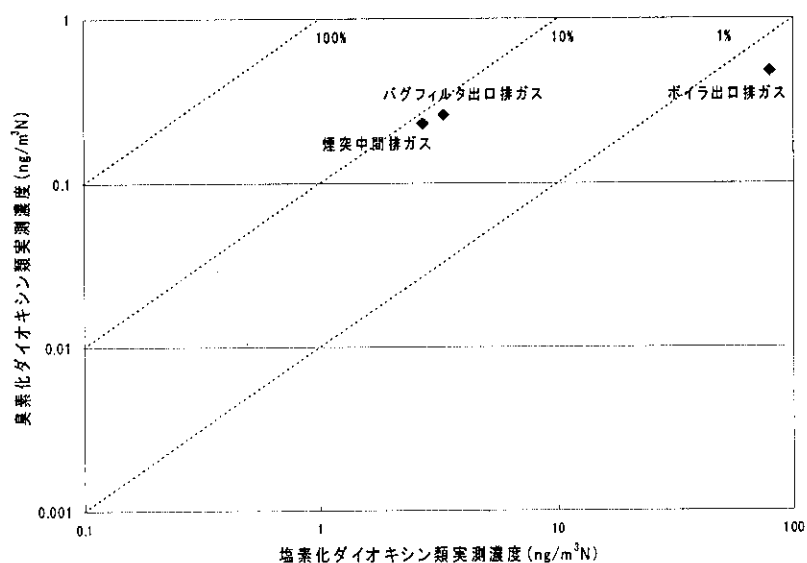


図1-4-7 塩素化ダイオキシン類に対する臭素化ダイオキシン類濃度（排ガス）

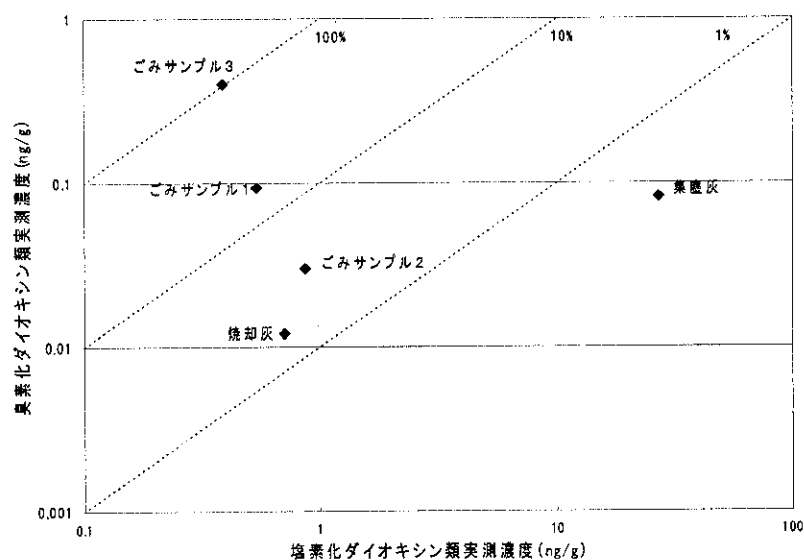


図1-4-8 塩素化ダイオキシン類に対する臭素化ダイオキシン類濃度（固体試料）

また、図1-4-9に、排ガス中の塩素化ダイオキシン類と、臭素化ダイオキシン類の推移を示す。排ガス中の塩素化ダイオキシン類は、バグフィルタ・脱硝反応塔での処理により、ボイラ出口での濃度に比較して、96～97%が除去されている。臭素化ダイオキシン類も、バグフィルタでの除去率が塩素化に比較して小さいものの、塩素化ダイオキシン類と同じように、排ガス処理により濃度が低減している。

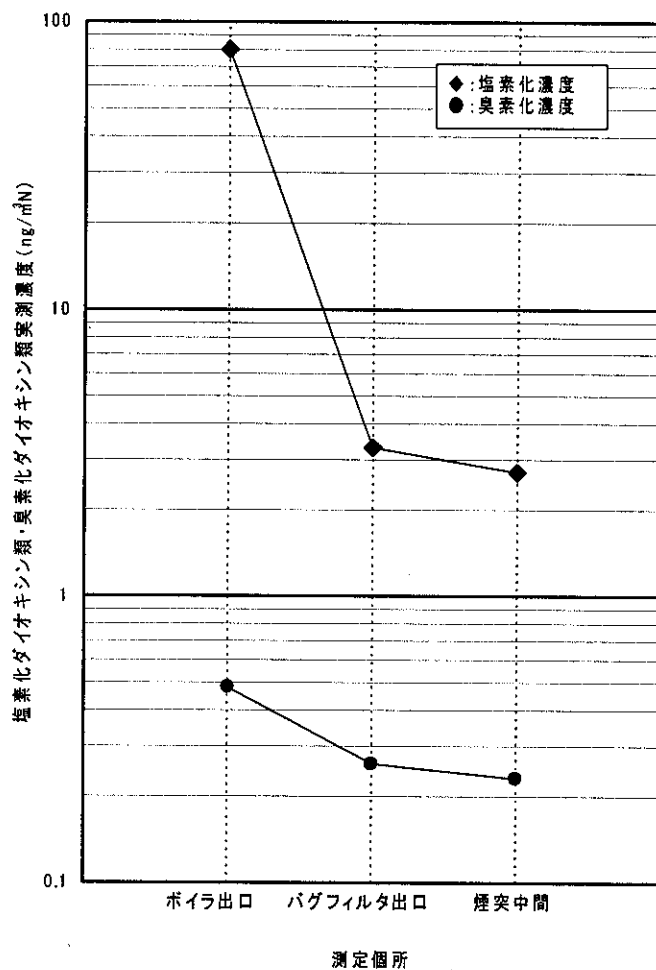


図1-4-9 排ガス中の塩素化ダイオキシン類と臭素化ダイオキシン類濃度

### 3. 一臭素及び二臭素・塩素化ダイオキシン類

一臭素・塩素化ダイオキシン類は、ボイラ出口排ガスからは6及び7塩素化ダイオキシンと1及び2塩素化フラン、焼却灰からは7塩素化ダイオキシン（フランは未検出）、集塵灰からは3～7塩素化ダイオキシンと1、2、4、6及び7塩素化フランが検出された。ごみからはいずれも検出されなかった。

一臭素・塩素化ダイオキシン類の、塩素化ダイオキシン類に対する実測濃度での割合は、表1-4-19より、ボイラ出口排ガスで1.5%、ごみで0%、焼却灰で2.8%、集塵灰で4.8%であった。ボイラ出口排ガス及び焼却灰については、検出されたものが毒性等価係数の小さい高塩素化ダイオキシン類であったため、毒性等価換算値への寄与率はさらに低くなると予想される。一方、集塵灰については、一臭素3～7塩素化ダイオキシン、一臭素4～7塩素化フランが検出された。

なお、二臭素・塩素化ダイオキシン類については、ボイラ出口排ガス、ごみ、焼却灰、集塵灰のいずれからも検出されなかった。

#### 4. ダイオキシン類総排出量の算出

ごみ1 tから発生するダイオキシン類総排出量（TEQ-'88での値）を今回の測定値を元に計算すると、表1-4-22のようになり、9.93 μg/ごみ tとなった。灰溶融設備のない施設であってこの数値であり、灰溶融を行った場合を想定すると、ダイオキシン類排出総量は、0.3 μg/ごみ t程度になると予想される（焼却灰・飛灰中のダイオキシン類の99%が分解されると仮定）。

表1-4-22 ダイオキシン類総排出量データ

	ダイオキシン類濃度	ごみ1 t当たり産出量	ダイオキシン類排出量
排ガス	0.033 ng-TEQ/m <sup>3</sup> N	5,200 m <sup>3</sup> N/ごみ t	0.17 μg-TEQ/ごみ t
焼却灰	0.010 ng-TEQ/g	56 kg/ごみ t	0.56 μg-TEQ/ごみ t
集塵灰	0.42 ng-TEQ/g	22 kg/ごみ t	9.2 μg-TEQ/ごみ t
排出総量	—	—	9.93 μg-TEQ/ごみ t

## 1. 5 焼却施設からのダイオキシン類縁化合物の排出実態調査 (ガス化溶融炉)

### 1. 5. 1 調査目的

現在、ダイオキシン類として規制されているのは、塩素系の塩素化ダイオキシン類 (PCDD/DFs) とコプラナーPCB (Co-PCBs) の2種である。しかし、最近の一部の臭素系難燃剤の加熱・焼却により、ダイオキシン類縁化合物の1種である臭素化ダイオキシン類 (PBDDs/DFs) の生成が報告されている。図 1-5-1 に主要な臭素系難燃剤の一つであるデカブロモジフェニルエーテル (DecaBDE) からの PBDDs/DFs の生成例を示す。

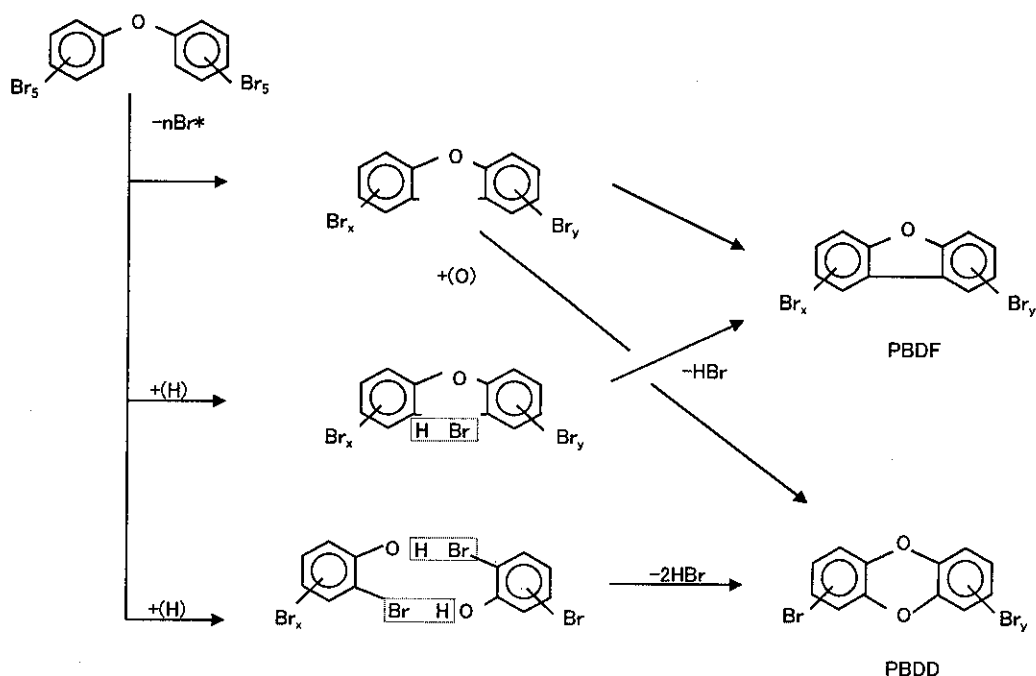


図1-5-1 デカブロモジフェニルエーテルからのPBDFおよびPBDDの生成機構例

出典: Bieniek D, Bahadir M, Korte F (1989) Formation of heterocyclic hazardous compounds by thermal degradation of organic compounds. *Heterocycles*, 28: 719-722

また、最近新たなごみ焼却技術として、ごみを約 600℃で熱分解し、可燃ガスとチャー (炭化残渣) を生成させ、これらを低空気比、約 1400℃で自己熱溶融による高温燃焼させる、いわゆる「ガス化溶融炉」が種々開発され、ダイオキシン類の抑制等の特徴を有し、実機も建設されている。

そこで、ガス化溶融炉におけるごみ、各工程別排ガスおよび残渣中の PCDDs/DFs、Co-PCBs

その他、PBDDs/DFs(臭素化ダイオキシン類)、PCBs(ポリ塩化ビフェニル)、PCNs(ポリ塩化ナフタレン)、PAHs(多環式芳香族炭化水素類)の濃度を測定し、バグフィルタおよび触媒塔による排出抑制効果や排出レベル、ごみを流入源とするマテリアルフロー解析の知見を得るとともに、ごみ中のPBDEs(臭素化ジフェニルエーテル)及びTBBPA(テトラブロモビスフェノールA)の濃度を測定して、流入レベルの知見を得ることを目的とする。

なお、本調査に供したごみはプラスチック等を除外した分別収集ごみで、ごみ焼却施設を経由せず、本施設に直接投入したものである。したがって、通常のごみと比較して、プラスチック類が少なく、紙・布類が多く、粗大ごみ破碎施設からの可燃ごみも混入していないものである。

## 1. 5. 2 調査概要

### 1. 調査施設

調査施設は、平成10年4月から平成11年11月まで稼働した処理能力10t/dの流動層ガス化溶融炉実証プラントである。その処理フローシートを図1-5-2に示す。

### 2. 調査内容

平成11年7月9日、図1-5-2に示す実証プラントの運転概要、および施設の各工程よりサンプリングした①～⑧の試料について、表1-5-1、表1-5-2に示すダイオキシン類緑化合物等の分析を行い、流動層ガス化溶融施設からのダイオキシン類緑化合物の排出量等を調査検討した。

なお、分析したダイオキシン類緑化合物の化学構造式を図1-5-3に示す。

## 1. 5. 3 調査結果

### 1. 施設の運転概要

実証プラント稼働時におけるごみ投入量、ごみ水分率、溶融温度、砂層温度、薬剤(使用薬剤:ユニソーバK2…高反応消石灰に活性炭10%混合)噴霧量、アンモニア噴霧量、バグフィルタ入口温度、触媒塔入口温度、触媒塔出口排ガス流量と経時変化の運転データを表1-5-3に、それぞれの運転データのグラフを図1-5-4から図1-5-9に示す。

#### 1) ごみ投入量

表 1-5-3 および図 1-5-4 より、7月9日 0:00～7月10日 0:00 まで 24h のごみ投入量の平均は 357kg/h である。測定期間 7月9日 10:00～16:00 まで 6h のごみ投入量は 412～432kg/h の間で推移しており、その平均は 421kg/h (10.1t/日) である。

#### 2) ごみ水分率

表 1-5-3 および図 1-5-5 より、当日 24h のごみ水分率の平均は 41.9% である。測定期間 6h のごみ水分率は 34.2～43.8% の間で推移しており、その平均は 40.5% である。

#### 3) 溶融温度、砂層温度

表 1-5-3 および図 1-5-6 より、当日 24h の溶融温度平均は 1,341℃ である。測定期間 6h の溶融温度は 1,247～1,375℃ の間で推移しており、その平均は 1,319℃ である。

表 1-5-3 および図 1-5-6 より、当日 24h の砂層温度平均は 571℃ である。測定期間 6h の砂層温度は 538～595℃ の間で推移しており、その平均は 570℃ である。

#### 4) 薬剤噴霧量、アンモニア噴霧量

表 1-5-3 および図 1-5-7 より、薬剤噴霧量は 2kg/h (48kg/日) 一定である。

表 1-5-3 および図 1-5-7 より、アンモニア噴霧量は 40mL/min (57.6L/日) 一定である。

#### 5) バグフィルタ入口温度、触媒塔入口温度

表 1-5-3 および図 1-5-8 より、当日 24h のバグフィルタ入口温度平均は 178℃ である。測定期間 6h のバグフィルタ入口温度は 173～177℃ の間で推移しており、その平均は 174℃ である。

表 1-5-3 および図 1-5-8 より、当日 24h の触媒塔入口温度平均は 207℃ である。測定期間 6h の触媒塔入口温度は 220～228℃ の間で推移しており、その平均は 224℃ である。18:00 以降の触媒塔入口温度の低下は昇温バーナーの停止によるものである。

#### 6) 触媒塔出口排ガス流量

表 1-5-3 および図 1-5-9 より、当日 24h の触媒塔出口排ガス流量の平均は 3,072Nm<sup>3</sup>/h である。測定期間 6h の触媒塔出口排ガス流量は 3,453～3,754Nm<sup>3</sup>/h の間で推移しており、その平均は 3,573Nm<sup>3</sup>/h である。



## 2. ダイオキシン類縁化合物等の分析結果

分析結果一覧を表 1-5-4、表 1-5-5 に、PCDDs/DFs と Co-PCBs の毒性等価換算係数を表 1-5-6 に、各試料および分析項目別の結果を表 1-5-7 から表 1-5-23 および図 1-5-10 から図 1-5-62 に示す。

### 1) 固形および排ガス試料のダイオキシン類縁化合物分析結果

#### (1) 塩素化ダイオキシン類 (PCDDs/DFs) の分析結果

表 1-5-7、図 1-5-10 より②ガス冷却室出口ガス 0.62ng-TEQ/m<sup>3</sup>N に対し、③バグフィルタ出口ガス 0.026ng-TEQ/m<sup>3</sup>N (除去率 95.81%)、④触媒塔出口ガス 0.018ng-TEQ/m<sup>3</sup>N (除去率 97.10%) であり、ほとんどバグフィルタで除去されている。同族体間の除去効果に大きな違いは見られなかった。

同族体分布を図 1-5-11 から図 1-5-18 に示す。

①ごみは PCDDs で 08CDD、T4CDDs が高く、PCDFs で H7CDFs が高濃度である。全体では PCDDs が PCDFs の約 3 倍の濃度である。

⑤不燃物は PCDDs で 08CDD、H7CDDs の高塩素化物ほど高く、PCDFs で T4CDFs、P5CDFs と低塩素化物ほど高い。全体では PCDDs と PCDFs は同程度の濃度である。

⑥溶融スラグは PCDDs で H6CDDs、P5CDDs、H7CDDs が検出されたが T4CDDs、08CDD は検出されなかった。PCDFs で 08CDF が大部分を占め H7CDFs も検出されたが T4CDFs、P5CDFs、H6CDFs は検出されなかった。全体では PCDDs は PCDFs の約 0.5 倍の濃度である。

⑦ガス冷ダストは PCDDs で H6CDDs、H7CDDs、08CDD の順に高い。PCDFs では全体的に PCDDs に比べて低濃度であるが、低塩素化物より高塩素化物の方が低濃度である。全体では PCDDs は PCDFs の約 7 倍の濃度である。

⑧溶融飛灰は PCDDs で H6CDDs、P5CDDs が高く 08CDD は低濃度であった。PCDFs で全体的に PCDDs に比べて低濃度であるが、低塩素化物ほど濃度が高い。全体では PCDDs は PCDFs の約 4 倍の濃度である。

②ガス冷却室出口ガスは PCDDs で H7CDDs、08CDD、H6CDDs が高く、低塩素化物は低濃度であった。PCDFs で全体的に PCDDs に比べて低濃度であるが、低塩素化物ほど濃度が高い。ガス冷ダストのパターンと類似している。全体では PCDDs は PCDFs の約 5 倍の濃度である。

③バグフィルタ出口ガスは PCDDs で H6CDDs が最も高く、低塩素化物または高塩素化物ほど低濃度であった。PCDFs で T4CDFs が最も高く高塩素化物ほど濃度が低い。全体では PCDDs

は PCDFs の約 0.8 倍の濃度である。

④触媒塔出口ガスは PCDDs で H6CDDs が最も高く、低塩素化物または高塩素化物ほど低濃度であった。PCDFs で T4CDFs が最も高く、H6CDFs も高いが、高塩素化物ほど濃度が低い。バグフィルタ出口ガスのパターンと類似している。全体では PCDDs は PCDFs の約 0.7 倍の濃度である。

## (2) コプラナー-PCB (Co-PCBs) の分析結果

表 1-5-8、図 1-5-10 より、②ガス冷却室出口ガス 0.13ng-TEQ/m<sup>3</sup>N に対し、③バグフィルタ出口ガス 0.000072ng-TEQ/m<sup>3</sup>N(除去率 99.94%)、④触媒塔出口ガス 0.000048ng-TEQ/m<sup>3</sup>N(除去率 99.96%) であり、PCDDs/DFs と同様にバグフィルタでほぼ除去されている。しかしながら②ガス冷却室出口ガスでは non-ortho 体の方が mono-ortho 体より濃度が高いのに対し、③バグフィルタ出口ガス、④触媒塔出口ガスでは mono-ortho 体の方が高くなっている。しかし、バグフィルタでは non-ortho 体に比べ、mono-ortho 体の除去効果は低かった。

その分布を図 1-5-19 から図 1-5-26 に示す。

①ごみでは non-ortho 体よりも mono-ortho 体の方が約 4.7 倍高く、di-ortho 体も non-ortho 体と同程度検出されているが、⑤不燃物、⑥熔融スラグ、⑦ガス冷ダスト、⑧熔融飛灰では non-ortho 体が高くなっており、少量の di-ortho 体が⑤不燃物、⑧熔融飛灰から検出された。

排ガス中では②ガス冷却室出口ガスで non-ortho 体の方が 3.5 倍 mono-ortho 体より高く、di-ortho 体が少量検出されているが、③バグフィルタ出口ガス、④触媒塔出口ガスでは mono-ortho 体の方が高く di-ortho 体は検出されなかった。

## (3) 臭素化ダイオキシン類 (PBDDs/DFs) の分析結果

表 1-5-9、図 1-5-10 より、排ガス中からは PBDDs、PBDFs 共に検出されなかった。

同族体分布を図 1-5-27 から図 1-5-34 に示す。

①ごみ、⑤不燃物からのみ検出され、PBDDs は検出されず PBDFs のみが検出された。①ごみでは O8BDF が大部分を占め、H7BDFs が少量存在したが、⑤不燃物では H6BDFs が最も濃度が高く、T4BDFs、P5BDFs、H7BDFs が検出された。

#### (4) ポリ塩化ビフェニル (PCBs) の分析結果

表 1-5-10、図 1-5-35 より、②ガス冷却室出口ガス 69ng/m<sup>3</sup>N に対し、③バグフィルタ出口ガス 36ng/m<sup>3</sup>N (除去率 47.83%)、④触媒塔出口ガス 19ng/m<sup>3</sup>N (除去率 72.46%) であり、PCDDs/DFs や Co-PCBs に比べバグフィルタでの除去効果は低かった。特に、②ガス冷却室出口ガスで濃度の高い T3CBs、T4CBs や P5CBs の除去効果が低かった。T3CBs、P5CBs が他に比べ、バグフィルタでの除去効果が低かった。

同族体分布を図 1-5-36 から図 1-5-43 に示す。

①ごみでは T4CBs が最も濃度が高く、次いで T3CBs が高くなっており、低塩素化体または高塩素化体になるほど低濃度である。⑥溶融スラグ、⑦ガス冷ダストも概ね同様のパターンであるが、⑤不燃物では T3CBs が最も濃度が高く、M1CBs も他に比べて高濃度である。また、⑧溶融飛灰では T4CBs が最も高濃度であるが、M1CBs も同程度の濃度であり、D2CBs、T3CBs もやや高濃度である。高塩素化体は塩素数の増大と共に濃度は低下している。

排ガス中でも T4CBs が最も高く、②ガス冷却室出口ガス、③バグフィルタ出口ガス、④触媒塔出口ガスのパターンも概ね①ごみのものと類似しているが、②ガス冷却室出口ガスでは低塩素化体がやや高濃度である。

#### (5) ポリ塩化ナフタレン (PCNs) の分析結果

表 1-5-11、図 1-5-35 より、②ガス冷却室出口ガス 32ng/m<sup>3</sup>N に対し、③バグフィルタ出口ガス 0.77ng/m<sup>3</sup>N (除去率 97.59%)、④触媒塔出口ガス 0.40ng/m<sup>3</sup>N (除去率 98.75%) であり、ほとんどバグフィルタで大部分は除去されている。同族体間の除去効果に大きな違いは見られなかった。

同族体分布を図 1-5-44 から図 1-5-51 に示す。

①ごみでは T4CNs が最も多く、次いで T3CNs であり、低塩素化体または高塩素化体になるほど低濃度である。⑦ガス冷ダスト、⑧溶融飛灰は低塩素化体のものが高いが、パターンは①ごみに類似している。⑤不燃物は M1CNs が他に比べ高い値であるが、それ以外の部分は①ごみのパターンと同じである。⑥溶融スラグでは M1CNs、T4CNs、P5CNs のみが検出され、他とは全くパターンが異なっている。

排ガス中は②ガス冷却室出口ガスでは T4PCNs が最も高く、低塩素化体または高塩素化体

になるほど低くなっている。③バグフィルタ出口ガス、④触媒塔出口ガスのパターンは極めて類似しており、T4CNs が最も高いのは②ガス冷却室出口ガスと同様であるが、D2CNs、H7CNs、O8CNs が全く検出されず、M1CNs が高濃度である。

#### (6) 多環式芳香族炭化水素類 (PAHs) の分析結果

表 1-5-12、図 1-5-35 より、②ガス冷却室出口ガス 2,400ng/m<sup>3</sup>N に対し、③バグフィルタ出口ガス 470ng/m<sup>3</sup>N (除去率 80.42%)、④触媒塔出口ガス 240ng/m<sup>3</sup>N (除去率 90.00%) であり、バグフィルタで除去されているが、④触媒塔出口ガスで 240 ng/m<sup>3</sup>N の濃度であった。しかしながらナフタレンは除去効果が低かった。ナフタレン、フルオレン、アセナフテンのバグフィルタでの除去効率が低かった。

同族体分布を図 1-5-52 から図 1-5-59 に示す。

①ごみではクリセンが最も多く、フルオランテン、ピレンなどを含め測定した 16 種すべてが検出された。①ごみ以外ではナフタレンが多く含まれておりガス冷却室出口②を除き最も高濃度であった。⑤不燃物、⑥溶融スラグ、⑦ガス冷ダスト、⑧溶融飛灰ではナフタレンに次いでフェナントレンが多く含まれていたが、環の数が多い化合物は低濃度になる傾向である。

排ガス中においてもナフタレンに次いでフェナントレンが多かったが、③バグフィルタ出口ガスと④触媒塔出口ガスのパターンが似ていた。また、②ガス冷却室出口ガスと⑦ガス冷ダストのパターンもよく類似していた。

#### (7) 臭素化ジフェニルエーテル (PBDEs) の分析結果

表 1-5-13 より、①ごみ中に 230ng/g 含有する。

同族体分布を図 1-5-60 に示す。

①ごみで T4BDEs が大部分を占め次いで O8BDEs が多かった。

#### (8) テトラプロモビスフェノール A (TBBPA) の分析結果

表 1-5-14 より、①ごみ中に 4,400ng/g 含有する。

(9) 排ガス中ダイオキシン類縁化合物のバグフィルタ、触媒塔における排出抑制効果  
排ガス中ダイオキシン類縁化合物のバグフィルタ、触媒塔における除去率を表 1-5-15  
に示す。

ア. バグフィルタにおける排ガス中のダイオキシン類縁化合物の除去率

Co-PCBs > PCNs > PCDDs/DFs > PAHs > PCBs の順に除去率が高く、Co-PCBs、PCNs、  
PCDDs/DFs は、それぞれ 99.94%、97.86%、95.70%である。

イ. 触媒塔における排ガス中のダイオキシン類縁化合物の除去率

PCNs ≧ PAHs ≧ PCBs > PCDDs/DFs > Co-PCBs の順に除去率が高く、PCNs、PAHs、PCBs は、  
それぞれ 47.95%、47.73%、47.06%である。

ウ. バグフィルタ及び触媒塔における排ガス中のダイオキシン類縁化合物の除去率

Co-PCBs > PCNs > PCDDs/DFs > PAHs > PCBs の順に除去率が高く、Co-PCBs、PCNs、  
PCDDs/DFs は、それぞれ除去率 99.96%、98.89%、97.03%である。

なお、PBDDs/PBDFs はいずれも検出されなかった。

(10) ダイオキシン類縁化合物の流入総量と排出総量 (実測濃度)

ダイオキシン類縁化合物の流入総量と排出総量 (実測濃度) を表 1-5-16 に示す。

ア. PCDDs/DFs の流入総量と排出総量

流入総量は、①ごみから 1,800 μg/ごみ t で、排出総量は 599.11 μg/ごみ t であり、  
主に⑧溶融飛灰から排出している。

イ. Co-PCBs の流入総量と排出総量

流入総量は、①ごみから 740 μg/ごみ t で、排出総量は 45.84 μg/ごみ t であり、主に  
⑧溶融飛灰及び⑤不燃物から排出している。

ウ. PBDDs/DFs の流入総量と排出総量

流入総量は、①ごみから 4,000  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$  で、排出総量は 19  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$  であり、⑤不燃物からのみ排出している。

エ. PCBs の流入総量と排出総量

流入総量は、①ごみから 47,000  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$  で、排出総量は 652.6  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$  であり、主に⑧溶融飛灰、④触媒塔出口ガス、⑤不燃物から排出している。

オ. PCNs の流入総量と排出総量

流入総量は、①ごみから 3,800  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$  で、排出総量は 273.0  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$  であり、主に⑧溶融飛灰及び⑤不燃物から排出している。

カ. PAHs の流入総量と排出総量

流入総量は、①ごみから 850,000  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$  で、排出総量は 27,717  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$  であり、主に⑧溶融飛灰から排出している。

キ. PBDEs 及び TBBPA の流入総量

PBDEs の流入総量は、①ごみから 230,000  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$  で、TBBPA の流入総量は、①ごみから 4,400,000  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$  であり、非常に高濃度で流入している。

2) 固形試料の含有量試験

①ごみ、⑤不燃物、⑥溶融スラグ、⑦ガス冷ダスト、⑧溶融飛灰中の重金属類含有量を表 1-5-17 に示す。

(1) ①ごみ

測定項目中最も多いのは T-C で 36.7%dry である。また Si を 2.80%dry、Al を 1.68%dry、Ca を 1.52%dry 含み、その他の元素類は 1%dry 以下である。

(2) ⑤不燃物

測定項目中最も多いのは Si で 24.04%dry である。また Fe を 20.14%dry、Al を 4.62%dry、

Caを3.84%dry、T-Cを2.2%dry含み、その他の元素類は1%dry以下である。

(3) ⑥溶融スラグ

測定項目中最も多いのはSiで19.97%dryである。またCaを15.14%dry、Alを11.14%dry、Feを1.86%dry、Naを1.35%dry、Kを1.27%dry含み、その他の元素類は1%dry以下である。

(4) ⑦ガス冷ダスト

測定項目中最も多いのはCaで12.76%dryである。またSO<sub>4</sub>を11.97%dry、Siを9.06%dry、Alを8.12%dry、Kを7.08%dry、T-Clを5.90%dry、Naを4.59%dry、Feを3.68%dry含み、その他の元素類は1%dry以下である。

(5) ⑧溶融飛灰

測定項目中最も多いのはCaで20.30%dryである。またT-Clを10.60%dry、SO<sub>4</sub>を7.83%dry、Siを6.63%dry、Alを5.92%dry、Kを4.26%dry、Naを2.88%dry、T-Cを2.8%dry、Feを1.14%dry含み、その他の元素類は1%dry以下である。

3) 固形試料の溶出試験

⑤不燃物、⑥溶融スラグ、⑦ガス冷ダスト、⑧溶融飛灰中の重金属類環境庁告示46号法による溶出試験結果を表1-5-18に示す。

(1) ⑤不燃物

T-Hg、Pb、Cd、As、Se、Cr<sup>6+</sup>の6項目全てについて検出下限値以下である。

(2) ⑥溶融スラグ

T-Hg、Pb、Cd、As、Se、Cr<sup>6+</sup>の6項目全てについて検出下限値以下である。

(3) ⑦ガス冷ダスト

T-Hg、Cd、Asは検出下限値以下である。Seは微量溶出し、Cr<sup>6+</sup>は少量溶出している。

(4) ⑧溶融飛灰

Cd、As は検出下限値以下である。T-Hg、Se は微量溶出し、Cr<sup>6+</sup>は少量溶出している。

⑦ガス冷ダストと⑧溶融飛灰中の Cr<sup>6+</sup>の溶出は、溶融炉の材質の影響によるものと考えられる。

4) 排ガス分析結果

排ガス分析結果を表 1-5-19 に、排ガス中のばいじん濃度を図 1-5-61 に、排ガス中の SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、HCl、CO 濃度を図 1-5-62 にそれぞれ示す。

(1) ガス量

表 1-5-19 より、ガス量は②ガス冷却室出口ガス、③バグフィルタ出口ガス、④触媒塔出口ガスにおいて 4,100m<sup>3</sup>N/h (wet) から 4,200m<sup>3</sup>N/h (wet) であった。

(2) 水分

表 1-5-19 より、水分は②ガス冷却室出口ガス、③バグフィルタ出口ガス、④触媒塔出口ガスにおいてそれぞれ 28.2%、24.5%、22.6%であった。

(3) 酸素濃度 (O<sub>2</sub>)

表 1-5-19 より、酸素濃度は②ガス冷却室出口ガス、③バグフィルタ出口ガス、④触媒塔出口ガスにおいて 11.9%から 13.1%であった。

(4) 二酸化炭素濃度 (CO<sub>2</sub>)

表 1-5-19 より、二酸化炭素濃度は②ガス冷却室出口ガス、③バグフィルタ出口ガス、④触媒塔出口ガスにおいて 6.8%から 7.5%であった。

(5) ばいじん濃度

表 1-5-19、図 1-5-61 より、ばいじん濃度は②ガス冷却室出口ガスで 1.73 g/m<sup>3</sup>N、③バグフィルタ出口ガスで 0.0011 g/m<sup>3</sup>N、④触媒塔出口ガスで <0.001g/m<sup>3</sup>N でありバグフィルタでほとんど除去されている。



(6) 硫黄酸化物(SOx)濃度

表 1-5-19、図 1-5-62 より、②ガス冷却室出口ガスで 21ppm であるが、③バグフィルタ出口ガスで 8.4ppm、④触媒塔出口ガスで 6.7ppm であり、バグフィルタで大きく低下している。

(7) 窒素酸化物(NOx)濃度

表 1-5-19、図 1-5-62 より、②ガス冷却室出口ガスで 429ppm であるが、③バグフィルタ出口ガスで 424ppm、④触媒塔出口ガスで 228ppm であり、触媒塔通過後もあまり低下していない。

なお、NOx が異常に高濃度であったのは、本調査の直前に一般ごみとプラスチック類の混焼テストを行った際、二次燃焼室での異常昇温防止のため、通常よりも二次空気量を増加し、そのまま本調査を実施したためと考えられる。

(8) 塩化水素(HCl)濃度

表 1-5-19、図 1-5-62 より、②ガス冷却室出口ガスで 121ppm であるが、③バグフィルタ出口ガスで 14ppm、④触媒塔出口ガスで 11ppm であり、バグフィルタで大きく低下している。

(9) 一酸化炭素(CO)濃度

表 1-5-19、図 1-5-62 より、②ガス冷却室出口ガスで 2.3ppm であるが、③バグフィルタ出口ガスで 4.5ppm、④触媒塔出口ガスで 14ppm であり、増加傾向にあるが低いレベルを維持している。

(10) 臭化水素(HBr)濃度

表 1-5-19 より、臭化水素濃度は②ガス冷却室出口ガス、③バグフィルタ出口ガス、④触媒塔出口ガスのすべてにおいて検出下限値以下 (<1ppm) であった。

5) ごみ分析結果

本実証プラントで処理したごみは、市内の家庭から一般ごみを収集し、直接搬入したものを用いた。ごみ質分析結果を表 1-5-20 に、ごみ組成分析結果を表 1-5-21 に、ごみ元素分析結果を表 1-5-22 にそれぞれ示す。

分析結果を表 1-5-22 にそれぞれ示す。

(1) ごみ質分析結果

表 1-5-20 よりごみは可燃分 55.73wt%wet、水分 33.34wt%wet、灰分 10.93wt%wet で構成されている。またごみの低位発熱量は 7,870 kJ/kg-wet (1,880kcal/kg-wet) であった。

(2) ごみ組成分析結果

表 1-5-21 より、ごみ組成は紙・布類が 81.70wt%dry と最も多く、木・竹・ワラ類を 6.31wt%dry、厨芥類を 5.50wt%dry、ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類を 2.29wt%dry、不燃物類を 0.34wt%dry、その他 3.86wt%dry 含んでおり、紙・布類が圧倒的に多い。

(3) ごみ元素分析結果

表 1-5-22 より、ごみ中元素は酸素が 26.86wt%wet と最も多く、炭素を 24.49wt%wet、水素を 3.83wt%wet、窒素を 0.36wt%wet、揮発性塩素を 0.16wt%wet、燃焼性硫黄を 0.03wt%wet 含んでいる。揮発性臭素は 0.01wt%wet 以下であった。

6) 不燃物成分分析結果

⑤不燃物の成分分析結果を表 1-5-23 に示す。採取方法は不燃物排出口においてサンプリングされた試料を乾燥後、10mm の篩い分けを行い、通過したものについては磁石選別により鉄と鉄以外に、通過しなかったものについては目視と磁石選別により鉄、アルミ、銅、ガラス、陶器、その他に選別した。表 1-5-23 より、有価物としては鉄が 18.72wt%dry、銅が 0.76wt%dry、アルミニウムが 0.37wt%dry 含まれている。その他成分は 77.25wt%dry で、その内 19.52wt%dry が石など (>10mm)、57.73wt%dry が石粒など (<10mm) である。

1.5.4 まとめ

1. 排ガス中ダイオキシン類縁化合物のバグフィルタ及び触媒塔における排出抑制効果

排ガス中ダイオキシン類縁化合物のバグフィルタ及び触媒塔における除去率は大きく、②ガス冷却室出口ガス(バグフィルタ入口ガス)で PCDDs/DFs、Co-PCBs、PCBs、PCNs、PAHs が、それぞれ 0.62ng-TEQ/m<sup>3</sup>N、0.13ng-TEQ/m<sup>3</sup>N、74ng/m<sup>3</sup>N、35ng/m<sup>3</sup>N、2,600ng/m<sup>3</sup>N であったのが、④触媒塔出口ガスでは、それぞれ 0.018ng-TEQ/m<sup>3</sup>N、0.000048ng-TEQ/m<sup>3</sup>N、18ng/m<sup>3</sup>N、0.38ng/m<sup>3</sup>N、230ng/m<sup>3</sup>N となり、除去率はそれぞれ 97.10%、99.96%、75.68%、

98.91%、91.15%であり、ガス化溶融炉からの排ガス中のダイオキシン類縁化合物はバグフィルター及び触媒塔などで除去できるものと考えられる。

なお、PBDDs/DFs は②ガス冷却室出口ガス及び④触媒塔出口ガスで不検出であった。

## 2. ダイオキシン類縁化合物の流入総量

ダイオキシン類縁化合物の①ごみからの流入総量は、実測濃度で比較すると、TBBPA>>PAHs>>PBDEs>>PCBs>>PBDDs/DFs>PCNs>PCDDs/DFs>>Co-PCBs (Co-PCBs は WHO-TEF 1997 による実測濃度) の順に多く、TBBPA が 4,400,000  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$ 、Co-PCBs が 740  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$  で、物質毎に濃度差が非常に大きい。

## 3. ダイオキシン類縁化合物の排出総量

ダイオキシン類縁化合物の④触媒塔出口ガス、⑤不燃物、⑥溶融スラグ、⑦ガス冷ダスト、⑧溶融飛灰からの排出総量は、PAHs>>PCBs>PCDDs/DFs>PCNs>>Co-PCBs>PBDDs/DFs の順に多く、PAHs が 27,717  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$ 、PBDDs/DFs が 19  $\mu\text{g}/\text{ごみ t}$  で、物質毎に濃度差が大きい。

表	表1-5-1	分析項目一覧（その1）
	表1-5-2	分析項目一覧（その2）
	表1-5-3	実証プラント運転データ
	表1-5-4	分析結果一覧（その1）
	表1-5-5	分析結果一覧（その2）
	表1-5-6	PCDDs/DFsとCo-PCBsの毒性等価換算係数（TEF）
	表1-5-7	PCDDs/DFsの分析結果
	表1-5-8	Co-PCBsの分析結果
	表1-5-9	PBDDs/DFsの分析結果
	表1-5-10	PCBsの分析結果
	表1-5-11	PCNsの分析結果
	表1-5-12	PAHsの分析結果
	表1-5-13	PBDEsの分析結果
	表1-5-14	TBBPAの分析結果
	表1-5-15	排ガス中ダイオキシン類縁化合物のバグフィルタ、触媒塔における除去率
	表1-5-16	ダイオキシン類縁化合物の流入総量と排出総量
	表1-5-17	金属類含有量分析結果
	表1-5-18	溶出試験結果
	表1-5-19	排ガス分析結果
	表1-5-20	生ごみ質分析結果
	表1-5-21	生ごみ組成分析結果
	表1-5-22	生ごみ元素分析結果
	表1-5-23	不燃物成分分析結果
図	図1-5-1	十臭業化ジフェニルエーテルからのPBDFおよびPBDDの生成機構例
	図1-5-2	実証プラントフローシート
	図1-5-3	ダイオキシン類縁化合物の化学構造式
	図1-5-4	ごみ投入量とごみ投入積算量の経時変化
	図1-5-5	ごみ水分率の経時変化
	図1-5-6	溶融温度と砂層温度の経時変化
	図1-5-7	薬剤噴霧量とアンモニア噴霧量の経時変化
	図1-5-8	バグフィルタ入口、触媒塔入口温度の経時変化
	図1-5-9	触媒塔出口排ガス流量の経時変化
	図1-5-10	排ガスにおけるPCDDs/DFs、Co-PCBsの濃度
	図1-5-11～18	PCDDs/DFsの同族体分布
	図1-5-19～26	Co-PCBsの分布
	図1-5-27～34	PBDDs/DFsの同族体分布
	図1-5-35	排ガスにおけるPCBs、PCNs、PAHsの濃度
	図1-5-36～43	PCBsの同族体分布
	図1-5-44～51	PCNsの同族体分布
	図1-5-52～59	PAHsの分布
	図1-5-60	PBDEsの同族体分布
	図1-5-61	排ガス中のばいじんの濃度
	図1-5-62	排ガス中のHCl、SO <sub>x</sub> 、CO、NO <sub>x</sub> の濃度